

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Applicant: Ryoji Sakiyama

Serial No. 10/817,090



For: NARROW-BAND AMPLIFIER AND IMPEDANCE-MEASURING APPARATUS

Filed: April 2, 2004

Group Art Unit: 2817

Confirmation No.: 6084

Customer No.: 27,623 Attorney Docket No.: 40030045-02

Mail Stop Missing Parts  
COMMISSIONER FOR PATENTS  
P.O. Box 1450  
Alexandria, VA 22313-1450

SUBMISSION OF PRIORITY DOCUMENT

Dear Sir:

We are enclosing a certified copy of the priority document, Japanese Patent Application No. 2003-112671, for filing in the above-identified application.

Please charge any additional fees or credit any such fees, if necessary to Deposit Account No. 01-0467 in the name of Ohlandt, Greeley, Ruggiero & Perle. A duplicate copy of this sheet is attached.

Respectfully submitted,

Date: August 16, 2004

Paul D. Greeley  
Registration No. 31,019  
Ohlandt, Greeley, Ruggiero & Perle, L.L.P.  
One Landmark Square, 10th Floor  
Stamford, Connecticut 06901-2682  
(203) 327-4500

日本国特許庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日      2003年 4月17日  
Date of Application:

出願番号      特願2003-112671  
Application Number:

[ST. 10/C]: [JP 2003-112671]

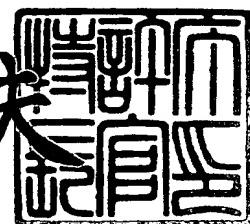
出願人      アジレント・テクノロジーズ・インク  
Applicant(s):

CERTIFIED COPY OF  
PRIORITY DOCUMENT

2004年 5月 6日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

今井 康夫



【書類名】 特許願  
【整理番号】 40030045  
【あて先】 特許庁長官 殿  
【国際特許分類】 G01R 27/00  
【発明者】  
【住所又は居所】 東京都八王子市高倉町9番1号 アジレント・テクノロジー株式会社内  
【氏名】 ▲崎▼山 領治  
【特許出願人】  
【識別番号】 000121914  
【氏名又は名称】 アジレント・テクノロジー株式会社  
【代理人】  
【識別番号】 100105913  
【弁理士】  
【氏名又は名称】 加藤 公久  
【手数料の表示】  
【予納台帳番号】 042745  
【納付金額】 21,000円  
【提出物件の目録】  
【物件名】 明細書 1  
【物件名】 図面 1  
【物件名】 要約書 1  
【包括委任状番号】 0200972  
【プルーフの要否】 要

【書類名】明細書

【発明の名称】狭帯域増幅器およびインピーダンス測定装置

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

位相検波器と積分器とベクトル変調器とを具備する狭帯域増幅器であって、

前記狭帯域増幅器は、入力信号を前記位相検波器により同相成分と直交成分に分解し、前記同相成分と前記直交成分をそれぞれ前記積分器により積分し、前記積分された同相成分と前記積分された直交成分を前記ベクトル変調器でベクトル変調して、ベクトル信号を出力する、狭帯域増幅器において、

さらに、第一の信号源と、第二の信号源と、第三の信号源と、第四の信号源と、制御手段とを備え、

前記第一の信号源は、第一の正弦波信号を前記位相検波器に供給し、

前記第二の信号源は、第一の正弦波信号と直交する第一の余弦波信号を前記位相検波器に供給し、

前記第三の信号源は、第二の正弦波信号を前記ベクトル変調器に供給し、

前記第四の信号源は、第二の正弦波信号と直交する第二の余弦波信号を前記ベクトル変調器に供給し、

前記第一の信号源、前記第二の信号源、前記第三の信号源および前記第四の信号源は、出力信号の周波数と位相が前記制御手段により数値制御される信号源であって、前記制御手段の制御があつてから所定の待ち時間が経過した時に出力信号が実際に変化し、

前記制御手段は、前記第一の信号源、前記第二の信号源、前記第三の信号源および前記第四の信号源のそれぞれの出力信号の変化時期が全て同期するよう、それぞれの前記所定の待ち時間分だけ同期させようとする時期より前に、前記第一の信号源、前記第二の信号源、前記第三の信号源および前記第四の信号源のそれを制御する、

ことを特徴とする狭帯域増幅器。

【請求項 2】

前記積分器の出力信号が安定した状態を保てるよう、前記位相検波器および

前記ベクトル変調器に供給する信号を制御する、  
ことを特徴とする請求項 1 に記載の狭帯域増幅器。

### 【請求項 3】

前記第一の正弦波信号と前記第二の正弦波信号との位相差は、前記第一の信号源を制御することにより調整され、

前記第一の余弦波信号と前記第二の余弦波信号との位相差は、前記第一の信号源を制御することにより調整される、

ことを特徴とする請求項 1 または請求項 2 に記載の狭帯域増幅器。

### 【請求項 4】

さらに、クロック源を備え、

前記クロック源は、第一の信号源、第二の信号源、第三の信号源および第四の信号源に、クロック信号を供給し、

前記所定の待ち時間は、前記クロック信号の周期によって決定される、

ことを特徴とする請求項 1 、請求項 2 または請求項 3 に記載の狭帯域増幅器。

### 【請求項 5】

被測定物の第一の端子に接続される信号源と、前記被測定物の第二の端子に接続され、前記第二の端子を仮想接地するとともに、前記被測定物に流れる電流信号を電圧信号に変換して出力する帰還増幅器と、前記第一の端子と前記第二の端子との間の電圧信号と、前記帰還増幅器の出力信号とのベクトル電圧比を測定する手段とを備え、前記ベクトル電圧比から前記被測定物のインピーダンスを測定するインピーダンス測定装置であって、

前記帰還増幅器は、狭帯域増幅器を備え、

前記狭帯域増幅器は、位相検波器と積分器とベクトル変調器とを具備し、入力信号を前記位相検波器により同相成分と直交成分に分解し、前記同相成分と前記直交成分をそれぞれ前記積分器により積分し、前記積分された同相成分と前記積分された直交成分を前記ベクトル変調器でベクトル変調して、ベクトル信号を出力する、インピーダンス測定装置において、

さらに、第一の信号源と、第二の信号源と、第三の信号源と、第四の信号源と、制御手段とを備え、

前記第一の信号源は、第一の正弦波信号を前記位相検波器に供給し、  
前記第二の信号源は、第一の正弦波信号と直交する第一の余弦波信号を前記位相検波器に供給し、

前記第三の信号源は、第二の正弦波信号を前記ベクトル変調器に供給し、

前記第四の信号源は、第二の正弦波信号と直交する第二の余弦波信号を前記ベクトル変調器に供給し、

前記第一の信号源、前記第二の信号源、前記第三の信号源および前記第四の信号源は、出力信号の周波数と位相が前記制御手段により数値制御される信号源であって、前記制御手段の制御があつてから所定の待ち時間が経過した時に出力信号が実際に変化し、

前記制御手段は、前記第一の信号源、前記第二の信号源、前記第三の信号源および前記第四の信号源のそれぞれの出力信号の変化時期が全て同期するよう、それぞれの前記所定の待ち時間分だけ同期させようとする時期より前に、前記第一の信号源、前記第二の信号源、前記第三の信号源および前記第四の信号源のそれを制御する、

ことを特徴とするインピーダンス測定装置。

#### 【請求項6】

前記積分器の出力信号が安定した状態を保てるように、前記位相検波器および前記ベクトル変調器に供給する信号を制御する、

ことを特徴とする請求項5に記載のインピーダンス測定装置。

#### 【請求項7】

前記第一の正弦波信号と前記第二の正弦波信号との位相差は、前記第一の信号源を制御することにより調整され、

前記第一の余弦波信号と前記第二の余弦波信号との位相差は、前記第一の信号源を制御することにより調整される、

ことを特徴とする請求項5または請求項6に記載のインピーダンス測定装置。

#### 【請求項8】

さらに、クロック源を備え、

前記クロック源は、第一の信号源、第二の信号源、第三の信号源および第四の

信号源に、クロック信号を供給し、

前記所定の待ち時間は、前記クロック信号の周期によって決定される、

ことを特徴とする請求項5、請求項6または請求項7に記載のインピーダンス測定装置。

#### 【請求項9】

被測定物の第一の端子に接続される信号源と、前記被測定物の第二の端子に接続され、前記第二の端子を仮想接地するとともに、前記被測定物に流れる電流信号を電圧信号に変換して出力する帰還増幅器と、前記第一の端子と前記第二の端子との間の電圧信号と、前記帰還増幅器の出力信号とのベクトル電圧比を測定する手段とを備え、前記ベクトル電圧比から前記被測定物のインピーダンスを測定するインピーダンス測定装置であって、

前記帰還増幅器は、位相検波器とベクトル変調器とを具備する変調形の狭帯域増幅器を備える、インピーダンス測定装置において、

さらに、第一の信号源と、第二の信号源と、第三の信号源と、第四の信号源と、制御手段とを備え、

前記第一の信号源は、第一の正弦波信号を前記位相検波器に供給し、

前記第二の信号源は、第一の正弦波信号と直交する第一の余弦波信号を前記位相検波器に供給し、

前記第三の信号源は、第二の正弦波信号を前記ベクトル変調器に供給し、

前記第四の信号源は、第二の正弦波信号と直交する第二の余弦波信号を前記ベクトル変調器に供給し、

前記第一の信号源、前記第二の信号源、前記第三の信号源および前記第四の信号源は、出力信号の周波数と位相が前記制御手段により数値制御される信号源であって、

前記制御手段は、前記第一の正弦波信号と前記第二の正弦波信号との位相差を前記第一の信号源を制御することにより調整し、前記第一の余弦波信号と前記第二の余弦波信号との位相差を前記第一の信号源を制御することにより調整する、ことを特徴とするインピーダンス測定装置。

#### 【請求項10】

**【発明の詳細な説明】****【0001】****【発明の属する技術分野】**

本発明はインピーダンス測定装置に係り、特に、高速測定が可能なインピーダンス測定装置に関する。

**【0002】****【従来の技術】**

インピーダンス測定装置の先行技術例として、自動平衡ブリッジ法によるインピーダンス測定装置がある。自動平衡ブリッジ法によるインピーダンス測定装置は、広い測定周波数範囲をカバーし、また、広いインピーダンス測定範囲で測定確度が良いことを特徴とする（例えば、特許文献1を参照。）。

**【0003】**

以下に、自動平衡ブリッジ法によるインピーダンス装置の内部構成と動作について説明する。図1は、自動平衡ブリッジ法によるインピーダンス装置の内部構成を示す図である。図1において、インピーダンス測定装置10は、被測定物100のインピーダンスを測定するために、信号源200と、電流電圧変換器300とベクトル電圧計400とを備える。インピーダンス測定装置10は、装置全体がCPUなどの演算制御装置CTRL1（不図示）の制御により動作する。

**【0004】**

被測定物100は、2端子を有する素子または回路である。被測定物100は、端子を少なくとも2つ有していれば良いので、3以上の端子を有する素子または回路などであっても良い。その場合、3以上の端子のうち2つが測定に用いられる。被測定物100は、図1中において「DUT」と表示する。図1において、被測定物100とケーブル510とケーブル520とが接続される点を、High端子と称する。また、被測定物100とケーブル530とケーブル540とが接続される点を、Low端子と称する。

**【0005】**

信号源200は、ケーブル510を介して被測定物100の第一の端子に接続され、被測定物100に供給する測定信号を発生する信号源である。また、信号

源200は、ケーブル510、ケーブル520およびバッファ550を介してベクトル電圧計400にも接続され、測定信号をベクトル電圧計400に供給する。測定信号は、单一正弦波信号とする。しかし、測定信号は、单一正弦波信号に限定されず、複数の正弦波を含む信号であっても良い。

#### 【0006】

電流電圧変換器300は、被測定物100に流れる電流を変換して電圧信号をバッファ560へ出力するものである。電流電圧変換器300は、零位検出器310と、狭帯域増幅器600と、バッファ320と、レンジ抵抗器330とを備える。ケーブル530、零位検出器310、狭帯域増幅器600、バッファ320、レンジ抵抗器330、および、ケーブル540は、負帰還ループ340を形成している。

#### 【0007】

零位検出器310は、レンジ抵抗器330に流れる電流と被測定物100に流れる電流とを平衡させて、ケーブル530を介して零位検出器310の入力端子に流れ込む電流を零にするような信号を狭帯域増幅器600へ出力する。レンジ抵抗器330に流れる電流と被測定物100に流れる電流とが平衡する時、L<sub>w</sub>端子の電圧は仮想接地される。

#### 【0008】

ここで、図2を参照する。図2は、狭帯域増幅器600の内部構成を示す図である。狭帯域増幅器600は、位相検波器610と、フィルタ620およびフィルタ630と、ベクトル変調器640と、信号源650とを備え、零位検出器310の出力信号を増幅してバッファ320へ出力する。狭帯域増幅器600は、零位検出器310の出力信号を位相検波器610により同相成分と直交成分とに分解し、同相成分および直交成分をフィルタ620およびフィルタ630により濾波し、濾波された同相成分および直交成分をベクトル変調器640により変調し、ベクトル変調電圧信号をバッファ320へ出力する。

#### 【0009】

信号源650は、測定信号と同一の周波数を有する正弦波信号源である。信号源650の出力信号は、位相シフト回路660により余弦波信号に変換される。

また、位相トラッキング回路670は、信号源650の出力信号を所望の位相量だけずらして出力する。位相トラッキング回路680は、位相シフト回路660の出力信号を所望の位相量だけずらして出力する。

#### 【0010】

位相検波器610は、混合器611と混合器612とを備える。混合器611は、位相トラッキング回路670の出力信号が入力される。混合器612は、位相トラッキング回路680の出力信号が入力される。位相トラッキング回路670が出力する正弦波信号と位相トラッキング回路680が出力する余弦波信号は、測定信号と同一の周波数を有し、互いに直交する。従って、混合器611と混合器612は、零位検出器310の出力信号を同相成分と直交成分とに直交分解することができる。

#### 【0011】

フィルタ620は、積分器であって、混合器611の出力信号を積分する。フィルタ630は、積分器であって、混合器612の出力信号を積分する。

#### 【0012】

ベクトル変調器640は、混合器641および混合器642と、加算器643とを備える。混合器641は、信号源650の出力信号が入力される。混合器642は、位相シフト回路660の出力信号が入力される。信号源650が出力する正弦波信号と位相シフト回路660が出力する余弦波信号は、測定信号と同一の周波数を有し、互いに直交する。混合器641は、フィルタ620の出力信号を信号源650から出力される正弦波信号で変調し出力する。混合器642は、フィルタ630の出力信号を位相シフト回路660から出力される余弦波信号で変調し出力する。混合器641から出力される電圧信号と混合器642から出力される電圧信号は、加算器643により加算され、バッファ320へ出力される。

#### 【0013】

なお、上述の説明からも明らかなように、狭帯域増幅器600は、一時に増幅する帯域は狭いが、信号源650の出力信号の周波数を可変する事により広い周波数範囲に対応する。

**【0014】**

再び、図1を参照する。ベクトル電圧計400は、バッファ550の出力信号E<sub>dut</sub>およびバッファ560の出力信号E<sub>rr</sub>をそれぞれ測定する。制御装置CTRL1は、測定された信号E<sub>dut</sub>と信号E<sub>rr</sub>とのベクトル比を計算し、さらに、計算したベクトル比とレンジ抵抗器330の抵抗値とから被測定物100のインピーダンスを算出する。

**【0015】****【特許文献1】**

特開平10-38936号公報（第2-3頁、第7図）

**【0016】****【発明が解決しようとする課題】**

ところで、半導体ウェハー上に形成されるMOS型デバイスの製造工程における重要な測定項目の1つに、ゲート酸化膜厚の測定がある。ゲート酸化膜厚は、MOS型デバイスの動作閾値を決定付ける重要なパラメータである。ゲート酸化膜厚は、MOS型デバイスのインピーダンスを測定し、インピーダンス測定値からMOS型デバイスの容量を算出し、算出した容量値から誘電率を介して酸化膜厚へ等価換算する事により測定されるようになってきた。従来のインピーダンス測定装置100は、MOS型デバイスのインピーダンスを測定しようとする場合、2つの問題がある。

**【0017】**

1つ目の問題は、信号源650の出力信号の周波数が変化した時に混合器611などに入力される信号が安定するまでに時間を要することである。信号源650の出力信号の周波数は、被測定物100のインピーダンスを複数の周波数で測定する場合に、測定信号に追従して変化する。上述の通り、信号源650の出力信号は、位相シフト回路660、位相トラッキング回路670または位相トラッキング回路680を経由して混合器611などに入力される。従来、位相シフト回路660は、PLL回路で構成される。また、位相トラッキング回路670および位相トラッキング回路680は、全帯域通過フィルタまたは高域通過フィルタで構成される。従って、位相シフト回路660、位相トラッキング回路670

および位相トラッキング回路680は、入力される信号の周波数が変わると、出力信号が安定するまでに時間を要する。インピーダンス測定装置では、幾つかの周波数に変更しながら測定を行う。その際に、信号の収束時間が長引けば、電流電圧変換器300の出力信号の収束時間も長引き測定開始が遅れる。つまり、上述の信号収束時間が高速測定の阻害要因となっている。

### 【0018】

2つ目の問題は、測定精度と回路規模とのトレードオフである。インピーダンス測定装置10は、負帰還ループ340を安定動作させるために、負帰還ループ340の一巡移相を $180^\circ$ に調整する。具体的には、演算制御装置CTRL1が位相トラッキング回路670を制御し、混合器611に入力される信号と混合器641に入力される信号の位相差を調整する。また、演算制御装置CTRL1が位相トラッキング回路680を制御し、混合器611に入力される信号と混合器641に入力される信号の位相差を調整する。従来、位相トラッキング回路670および位相トラッキング回路680は、抵抗器やコンデンサなどの受動部品を含む回路により構成される。位相トラッキング回路670および位相トラッキング回路680は、上述の位相差の調整を精密に行おうとすれば、抵抗器とコンデンサとの組が多数必要となる。部品点数の増加は、回路規模の増大および平均無故障時間（MTBF）の増加を招く。また、抵抗器やコンデンサは温度依存特性を有するので、部品点数の増加は測定誤差の増加も招く。一方、抵抗器とコンデンサとの組を少なくすると、負帰還ループ340の収束時間が長くなる。特に、ウェハー上に形成されたMOS型デバイスのインピーダンスを測定する場合、マトリックス・スイッチやプロープカードなどを介して測定を行うので、収束時間の問題が顕著に現れる。また、位相トラッキング回路670の移相量と位相トラッキング回路680の移相量とが同一にならず、測定誤差を生じる場合がある。

### 【0019】

近年、半導体の微細加工技術は著しい進歩を遂げ、1枚のウェハー上に膨大な数の素子または回路が形成されている。測定対象となる素子の数が著しく増加する一方で、それに応じた測定時間の増加は許容されない。また、高速測定のため

に、測定精度を犠牲にすることも許されない。現在の半導体業界において、高速かつ高精度なインピーダンス測定の実現が極めて重要な課題となっている。

### 【0020】

本発明は、上記の課題を解決するために、測定精度を犠牲にすること無く、インピーダンス測定装置の測定を高速化する事を目的とする。

### 【0021】

#### 【課題を解決するための手段】

本発明は、上記の目的を達成するためになされたものであって、本第一の発明は、位相検波器と積分器とベクトル変調器とを具備する狭帯域増幅器であって、前記狭帯域増幅器は、入力信号を前記位相検波器により同相成分と直交成分に分解し、前記同相成分と前記直交成分をそれぞれ前記積分器により積分し、前記積分された同相成分と前記積分された直交成分を前記ベクトル変調器でベクトル変調して、ベクトル信号を出力する、狭帯域増幅器において、さらに、第一の信号源と、第二の信号源と、第三の信号源と、第四の信号源と、制御手段とを備え、前記第一の信号源は、第一の正弦波信号を前記位相検波器に供給し、前記第二の信号源は、第一の正弦波信号と直交する第一の余弦波信号を前記位相検波器に供給し、前記第三の信号源は、第二の正弦波信号を前記ベクトル変調器に供給し、前記第四の信号源は、第二の正弦波信号と直交する第二の余弦波信号を前記ベクトル変調器に供給し、前記第一の信号源、前記第二の信号源、前記第三の信号源および前記第四の信号源は、出力信号の周波数と位相が前記制御手段により数値制御される信号源であって、前記制御手段の制御があつてから所定の待ち時間が経過した時に出力信号が実際に変化し、前記制御手段は、前記第一の信号源、前記第二の信号源、前記第三の信号源および前記第四の信号源のそれぞれの出力信号の変化時期が全て同期するよう、それぞれの前記所定の待ち時間分だけ同期させようとする時期より前に、前記第一の信号源、前記第二の信号源、前記第三の信号源および前記第四の信号源のそれぞれを制御する、ことを特徴とするものである。

### 【0022】

また、本第二の発明は、本第一の発明において、前記積分器の出力信号が安定

した状態を保てるように、前記位相検波器および前記ベクトル変調器に供給する信号を制御する、ことを特徴とするものである。

### 【0023】

さらに、本第三の発明は、前記第一の発明または前記第二の発明において、前記第一の正弦波信号と前記第二の正弦波信号との位相差は、前記第一の信号源を制御することにより調整され、前記第一の余弦波信号と前記第二の余弦波信号との位相差は、前記第一の信号源を制御することにより調整される、ことを特徴とするものである。

### 【0024】

またさらに、本第四の発明は、前記第一の発明、前記第二の発明または前記第三の発明において、さらに、クロック源を備え、前記クロック源は、第一の信号源、第二の信号源、第三の信号源および第四の信号源に、クロック信号を供給し、前記所定の待ち時間は、前記クロック信号の周期によって決定される、ことを特徴とするものである。

### 【0025】

また、本第五の発明は、被測定物の第一の端子に接続される信号源と、前記被測定物の第二の端子に接続され、前記第二の端子を仮想接地するとともに、前記被測定物に流れる電流信号を電圧信号に変換して出力する帰還増幅器と、前記第一の端子と前記第二の端子との間の電圧信号と、前記帰還増幅器の出力信号とのベクトル電圧比を測定する手段とを備え、前記ベクトル電圧比から前記被測定物のインピーダンスを測定するインピーダンス測定装置であって、前記帰還増幅器は、変調形の狭帯域増幅器を備え、前記狭帯域増幅器は、位相検波器と積分器とベクトル変調器とを具備し、入力信号を前記位相検波器により同相成分と直交成分に分解し、前記同相成分と前記直交成分をそれぞれ前記積分器により積分し、前記積分された同相成分と前記積分された直交成分を前記ベクトル変調器でベクトル変調して、ベクトル信号を出力する、インピーダンス測定装置において、さらに、第一の信号源と、第二の信号源と、第三の信号源と、第四の信号源と、制御手段とを備え、前記第一の信号源は、第一の正弦波信号を前記位相検波器に供給し、前記第二の信号源は、第一の正弦波信号と直交する第一の余弦波信号を前

記位相検波器に供給し、前記第三の信号源は、第二の正弦波信号を前記ベクトル変調器に供給し、前記第四の信号源は、第二の正弦波信号と直交する第二の余弦波信号を前記ベクトル変調器に供給し、前記第一の信号源、前記第二の信号源、前記第三の信号源および前記第四の信号源は、出力信号の周波数と位相が前記制御手段により数値制御される信号源であって、前記制御手段の制御があつてから所定の待ち時間が経過した時に出力信号が実際に変化し、前記制御手段は、前記第一の信号源、前記第二の信号源、前記第三の信号源および前記第四の信号源のそれぞれの出力信号の変化時期が全て同期するよう、それぞれの前記所定の待ち時間分だけ同期させようとする時期より前に、前記第一の信号源、前記第二の信号源、前記第三の信号源および前記第四の信号源のそれぞれを制御する、ことを特徴とするインピーダンス測定装置。

#### 【0026】

さらに、本第六の発明は、本第五の発明において、前記積分器の出力信号が安定した状態を保てるように、前記位相検波器および前記ベクトル変調器に供給する信号を制御する、ことを特徴とするものである。

#### 【0027】

またさらに、本第七の発明は、本第五の発明または本第六の発明において、前記第一の正弦波信号と前記第二の正弦波信号との位相差は、前記第一の信号源を制御することにより調整され、前記第一の余弦波信号と前記第二の余弦波信号との位相差は、前記第一の信号源を制御することにより調整される、ことを特徴とするものである。

#### 【0028】

またさらに、本第八の発明は、本第五の発明、本第六の発明または本第七の発明において、さらに、クロック源を備え、前記クロック源は、第一の信号源、第二の信号源、第三の信号源および第四の信号源に、クロック信号を供給し、前記所定の待ち時間は、前記クロック信号の周期によって決定される、ことを特徴とするものである。

#### 【0029】

またさらに、本第九の発明は、被測定物の第一の端子に接続される信号源と、

前記被測定物の第二の端子に接続され、前記第二の端子を仮想接地するとともに、前記被測定物に流れる電流信号を電圧信号に変換して出力する帰還増幅器と、前記第一の端子と前記第二の端子との間の電圧信号と、前記帰還増幅器の出力信号とのベクトル電圧比を測定する手段とを備え、前記ベクトル電圧比から前記被測定物のインピーダンスを測定するインピーダンス測定装置であって、前記帰還増幅器は、位相検波器とベクトル変調器とを具備する変調形の狭帯域増幅器を備える、インピーダンス測定装置において、さらに、第一の信号源と、第二の信号源と、第三の信号源と、第四の信号源と、制御手段とを備え、前記第一の信号源は、第一の正弦波信号を前記位相検波器に供給し、前記第二の信号源は、第一の正弦波信号と直交する第一の余弦波信号を前記位相検波器に供給し、前記第三の信号源は、第二の正弦波信号を前記ベクトル変調器に供給し、前記第四の信号源は、第二の正弦波信号と直交する第二の余弦波信号を前記ベクトル変調器に供給し、前記第一の信号源、前記第二の信号源、前記第三の信号源および前記第四の信号源は、出力信号の周波数と位相が前記制御手段により数値制御される信号源であって、前記制御手段は、前記第一の正弦波信号と前記第二の正弦波信号との位相差を前記第一の信号源を制御することにより調整し、前記第一の余弦波信号と前記第二の余弦波信号との位相差を前記第一の信号源を制御することにより調整する、ことを特徴とするものである。

### 【0030】

#### 【発明の実施の形態】

以下、本発明を添付の図面に示す好適実施形態に基づいて説明する。本発明の好適実施形態は、自動平衡ブリッジ法によるインピーダンス測定装置であって、その内部構成図を図3に示す。なお、図1と図3において、互いに等価な機能および性能を有する構成要素には、同一の参照番号が付してある。

### 【0031】

図3において、インピーダンス測定装置20は、被測定物100のインピーダンスを測定するために、信号源200と、電流電圧変換器800とベクトル電圧計400とを備える。インピーダンス測定装置20は、プログラムを実行するコンピュータ装置1000の制御により動作する。

### 【0032】

被測定物100は、半導体ウェハー上の複数のMOS型デバイスである。図示の便宜上、被測定物100は、1つのみ図示し「DUT」と表示する。本実施の形態ではMOS型デバイスの容量を測定するので、被測定物100は第一の端子と第二の端子とを有するコンデンサとする。被測定物100は、ウェハーインターフェース装置700を介してインピーダンス測定装置20と接続される。ウェハーインターフェース装置700は、図示しないが、半導体ウェハーを固定するためのチャック、半導体ウェハー上の被測定物100に接触するためのプローブカード、および、マトリックス・スイッチなどを備える。図3において、ウェハーインターフェース装置700とケーブル510とケーブル520とが接続される点を、High端子と称する。また、ウェハーインターフェース装置700とケーブル530とケーブル540とが接続される点を、Low端子と称する。なお、被測定物100は、端子を少なくとも2つ有していれば良いので、トランジスタのように3以上の端子を有する素子または回路などであっても良い。その場合、3以上の端子のうち2つが測定に用いられる。

### 【0033】

信号源200は、ケーブル510およびウェハーインターフェース装置700を介して被測定物100の第一の端子に接続され、被測定物100に供給する測定信号を発生する信号源である。また、信号源200は、ケーブル510、ケーブル520およびバッファ550を介してベクトル電圧計400にも接続され、測定信号をベクトル電圧計400に供給する。測定信号は、单一正弦波信号とする。しかし、測定信号は、单一正弦波信号に限定されず、複数の正弦波を含む信号であっても良い。

### 【0034】

電流電圧変換器800は、被測定物100に流れる電流を変換して電圧信号をバッファ560へ出力するものである。電流電圧変換器800は、零位検出器310と、狭帯域増幅器900と、バッファ320と、レンジ抵抗器330とを備える。ケーブル530、零位検出器310、狭帯域増幅器900、バッファ320、レンジ抵抗器330、および、ケーブル540は、負帰還ループ810を形

成している。

### 【0035】

零位検出器310は、レンジ抵抗器330に流れる電流と被測定物100に流れる電流とを平衡させて、ケーブル530を介して零位検出器310の入力端子に流れ込む電流を零にするような信号を狭帯域増幅器900へ出力する。レンジ抵抗器330に流れる電流と被測定物100に流れる電流とが平衡する時、L<sub>0</sub>w端子の電圧は仮想接地される。

### 【0036】

ここで、図4を参照する。図4は、狭帯域増幅器900の内部構成を示す図である。狭帯域増幅器900は、位相検波器910と、フィルタ920およびフィルタ930と、ベクトル変調器940とを備え、零位検出器310の出力信号を増幅してバッファ320へ出力する。また、狭帯域増幅器900は、クロック源960と、信号源951、信号源952、信号源953および信号源954を備える。

### 【0037】

クロック源960は、信号源951、信号源952、信号源953および信号源954にクロック信号CLKを供給する。クロック源が発生するクロック信号CLKは、矩形波信号である。クロック源が発生するクロック信号CLKは、信号源951などを動作させる事ができるものであれば矩形波信号に限定されず、例えば、正弦波信号であっても良い。なお、クロック信号CLKを同期伝送するために、信号源951、信号源952、信号源953および信号源954のそれぞれとクロック源960との間を接続するクロック信号線は、電気的線路長とインピーダンスが等しくなるように設計されている。また、クロック信号CLKを同期伝送するために、クロック源960、信号源951、信号源952、信号源953および信号源954は、接続されるクロック信号線とインピーダンスが整合するように設計されている事が望ましい。さらに、クロック信号を同期伝送するために、クロック信号CLKは、受信端においてシュミットトリガ回路などにより波形整形されている事が望ましい。これらの技術は、クロック信号CLKの周波数が高くなるにつれて同期効果を顕著に奏する。

### 【0038】

信号源951および信号源953は、クロック信号CLKに応答して正弦波信号を出力する。また、信号源952および信号源954は、クロック信号CLKに応答して余弦波信号を出力する信号源である。信号源951、信号源952、信号源953および信号源954は、同一のダイレクト・ディジタル・シンセサイザーであって、出力する信号の周波数および位相がコンピュータ装置1000により個別に制御される。信号源951、信号源952、信号源953および信号源954は、コンピュータ装置1000の制御があってから、所定の待ち時間経過した時に、実際に出力信号の周波数や位相が変化する。信号源951、信号源952、信号源953および信号源954の出力信号は、測定信号と同一の周波数を有する。また、信号源951の出力信号と信号源952の出力信号、および、信号源953の出力信号と信号源954の出力信号は、それぞれ互いに直交する。なお、信号源951および信号源953が余弦波信号を出力し、信号源952および信号源954が正弦波信号を出力するようにしても良い。また、信号源951、信号源952、信号源953および信号源954の出力信号は、正弦波信号や余弦波信号に限定されず、例えば、矩形波信号であっても良い。さらに、信号源951、信号源952、信号源953および信号源954は、コンピュータ装置1000によりデジタル制御が可能な数値制御発振器で有れば良い。

### 【0039】

位相検波器910は、混合器911および混合器912とを備える。混合器911は、信号源951の出力信号が入力される。また、混合器912は、信号源952の出力信号が入力される。信号源951の出力信号と信号源952の出力信号は、測定信号と同一の周波数を有し、互いに直交する。従って、混合器911と混合器912は、零位検出器310の出力信号を同相成分と直交成分とに直交分解して、フィルタ920およびフィルタ930へ出力する。

### 【0040】

フィルタ920は、積分器であって、混合器911の出力信号を積分する。また、フィルタ930は、積分器であって、混合器912の出力信号を積分する。

### 【0041】

ベクトル変調器940は、混合器941および混合器942と、加算器943とを備える。混合器941は、信号源953の出力信号が入力される。また、混合器942は、信号源954の出力信号が入力される。信号源953の出力信号と信号源954の出力信号は、測定信号と同一の周波数を有し、互いに直交する。混合器941は、フィルタ920の出力信号を信号源953から出力される信号で変調し出力する。混合器942は、フィルタ930の出力信号を信号源954から出力される信号で変調し出力する。混合器941から出力される電圧信号と混合器942から出力される電圧信号は、加算器943により加算され、バッファ320へ出力される。

#### 【0042】

再び、図3を参照する。ベクトル電圧計400は、バッファ550の出力信号E<sub>dut</sub>およびバッファ560の出力信号E<sub>rr</sub>をそれぞれ測定する。コンピュータ装置1000は、測定された信号E<sub>dut</sub>と信号E<sub>rr</sub>とのベクトル比を計算し、さらに、計算したベクトル比とレンジ抵抗器330の抵抗値とから被測定物100のインピーダンスを算出する。図示しないが、レンジ抵抗器330は、抵抗値の異なる複数の抵抗器から構成されており、測定しようとする被測定物100のインピーダンスに応じて、それらの抵抗器が適宜選択される。これにより、インピーダンス測定装置20は、広範囲のインピーダンス値を測定することができる。

#### 【0043】

さて、被測定物100のインピーダンスを複数の周波数で測定する場合、インピーダンス測定装置20は、信号源200、信号源951、信号源952、信号源953および信号源954の出力信号の周波数を変化させる。信号源951、信号源952、信号源953および信号源954の出力信号の周波数を変化させる時、コンピュータ装置1000は、信号源951、信号源952、信号源953および信号源954のそれぞれの出力信号の変化時期が全て同期するよう、それぞれの所定の待ち時間分だけ同期させようとする時期より前に、信号源951、信号源952、信号源953および信号源954のそれぞれを制御する。

#### 【0044】

また、インピーダンス測定装置20は、負帰還ループ810を安定動作させるために、負帰還ループ810の一巡移相が $180^{\circ}$ になるように信号源951、信号源952、信号源953および信号源954を制御する。従って、信号源951、信号源952、信号源953および信号源954の出力信号は、周波数が変化する時、位相も変化する場合がある。この場合、信号源951、信号源952、信号源953および信号源954の出力信号の周波数と位相は同時に変化することが理想的である。出力信号の周波数と位相を同時に変化するよう制御できない場合には、信号源951、信号源952、信号源953および信号源954は、少なくとも出力信号の周波数が同時に変化するように制御される。位相検波器910に供給される信号の周波数とベクトル変調器940に供給される信号の周波数が異なる場合、負帰還ループ810が発振する。負帰還ループ810の発振は、電流電圧変換器800の出力信号の収束時間を長引かせる。従って、高速測定には、負帰還ループ810の発振を抑制することが重要であり、上記のように、信号源951、信号源952、信号源953および信号源954の出力信号の周波数を同時に変化するように制御している。ここで、負帰還ループ810の発振とは、フィルタ920またはフィルタ930の出力信号が発振することを意味する。従って、負帰還ループ810が安定していれば、フィルタ920またはフィルタ930の出力信号も安定している。コンピュータ装置1000の制御があってから実際に期待する周波数に変化するまでの期間に、信号源951、信号源952、信号源953および信号源954のいずれかが期待しない信号を出力する場合には、負帰還ループ810は不安定な状態になる。負帰還ループ810が不安定な状態になれば、電流電圧変換器800の出力信号の収束時間は長引く。負帰還ループ810が不安定な状態になることを抑制するためには、少なくとも期待しない信号が出力される期間は、位相検波器910に供給する信号もしくはベクトル変調器940に供給する信号または両信号を零または直流信号となるように制御すると良い。供給信号を零または直流信号とするには、零または直流信号が出力可能な信号源、または、供給信号と零または直流信号とを切り替えるスイッチを備え、その信号源またはスイッチをコンピュータ装置1000が適宜制御するすれば良い。

### 【0045】

さらに、インピーダンス測定装置20は、負帰還ループ810の一巡移相を調整するために、信号源951と信号源952のみを制御する。もちろん、インピーダンス測定装置20は、信号源953の出力信号と信号源954の出力信号とが互いに直交するように、信号源953と信号源954を制御する。しかし、負帰還ループ810の一巡移相は、信号源951と信号源952の制御により調整される。これにより、信号源953および信号源954は、出力信号の位相の細かな調整が必要なくなり、ノイズ特性や歪特性が優れた信号源を選択する事ができる。ベクトル電圧計400の測定結果は、信号源953および信号源954の出力信号の特性に左右されるので、信号源953および信号源954をノイズ特性や歪特性が優れた信号源とする事はインピーダンス測定装置20にとって有利な選択である。一方、信号源953および信号源954は、出力信号に含まれるノイズや出力信号の歪成分を後続のフィルタ920およびフィルタ930により取り除くようすれば、位相調整精度が高い信号源を選択できるようになる。

### 【0046】

ここで、上記の制御規則に従った信号源951と信号源953の出力信号を図5に例示する。本例では、信号源951と信号源953の出力信号の周波数を $f_1$ から $f_2$ に変更し、両信号の位相差を $\phi_1$ から $\phi_2$ に変更する。信号源951と信号源953とは異なる信号源である。信号源951と信号源953とは、同一クロック信号に応答して動作する。信号源951は、出力信号の位相を細かく調整可能な信号源である。また、信号源951は、コンピュータ装置1000の制御があってから所定の待ち時間（Lクロック）が経過した時に、出力信号の周波数と位相が変化する。信号源953は、出力信号のノイズ特性や歪特性が信号源951よりも優れた信号源である。また、信号源953は、内部処理の都合上、コンピュータ装置1000の制御があってから実際に期待する周波数や位相に変化するまでの間に、一旦、零または直流信号を出力する。図中では、コンピュータ装置1000の制御があってからMクロック後に出力信号が零（0）となり、さらにNクロック後に実際に期待する周波数 $f_2$ に変化している。これにより、信号源951と信号源953の出力信号の周波数は実際に期待する値 $f_2$ に変

化し、両信号の位相差も期待する値  $\phi_2$  に変化する。図中の制御信号は、事前に各信号源に設定された周波数や位相を実際に反映させるための信号である。このような場合、インピーダンス測定装置 20 は、信号源 951 と信号源 953 の出力信号の周波数が同時に変化するように、信号源 951 と信号源 953 を制御すると良い。信号源 952 と信号源 954 の場合も上述の例と同様である。上記の例のように、信号源 951、信号源 952、信号源 953 および信号源 954 の信号変化時における所定の待ち時間がクロック信号の周期により決定されるようすれば、インピーダンス測定装置 20 は、信号源 951、信号源 952、信号源 953 および信号源 954 を同期動作させることが容易になる。この事は、信号源 951、信号源 952、信号源 953 および信号源 954 が同一であるとなないと問わず、変わりない。

### 【0047】

#### 【発明の効果】

本発明の狭帯域増幅器は、適当に制御される 4 つの信号源を備えることにより、位相シフト回路および位相トラッキング回路に起因する収束時間の問題が解消され、出力信号の収束時間が短縮され、負帰還ループの一巡位相の誤差が小さくなつたので、結果として、高速かつ高精度な増幅動作が可能となる。このような狭帯域増幅器を備える本発明のインピーダンス測定装置は、高速かつ高精度に測定することができる。また、本発明の狭帯域増幅器およびインピーダンス測定装置は、位相シフト回路や位相トラッキング回路を備える必要がなくなるので、構成を簡素化でき、位相シフト回路や位相トラッキング回路の温度特性に起因する測定誤差を低減できる。さらに、本発明の狭帯域増幅器およびインピーダンス測定装置は、位相シフト回路などのアナログ回路を備える必要がなくなるので、高度な集積化が可能になり、構成の簡素化との相乗効果により回路規模が極めて小さくなる。またさらに、本発明の狭帯域増幅器およびインピーダンス測定装置は、負帰還ループの一巡移相を位相検波器に信号を供給する信号源の制御により調整するので、信号源の選択の自由度が広がり、優れた信号源を使用することができる。また、従来の位相シフト回路や位相トラッキング回路は、アナログ部品で構成されるため、位相変化量に依り位相検波器やベクトル変調器に供給する信号

レベルが変化した。一方、本発明の狭帯域増幅器において、数値制御発振器は、出力信号の位相を調整しても出力信号レベルが変わることはない。このような狭帯域増幅器を備えるインピーダンス測定装置は、広い範囲のインピーダンス値を測定することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】従来技術によるインピーダンス測定装置の内部構成を示す図である。

◦

【図2】従来技術によるインピーダンス測定装置に具備される狭帯域増幅器の内部構成を示す図である。

【図3】本発明のインピーダンス測定装置の内部構成を示す図である。

【図4】本発明のインピーダンス測定装置に具備される狭帯域増幅器の内部構成を示す図である。

【図5】信号源951および信号源953の出力信号を示す図である。

【符号の説明】

20 インピーダンス測定装置

100 被測定物

200 信号源

310 零位検出器

320, 550, 560 バッファ

330 レンジ抵抗器

400 ベクトル電圧計

510, 520, 530, 540 ケーブル

800 電流電圧変換器

900 狹帯域増幅器

910 位相検波器

911, 912, 941, 942 混合器

920, 930 フィルタ

940 ベクトル変調器

943 加算器

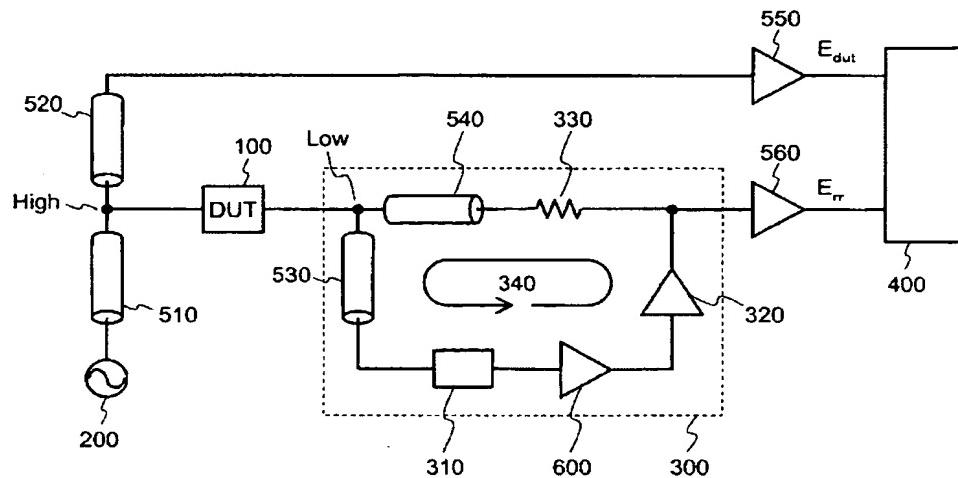
951, 952, 953, 954 信号源

960 クロック源

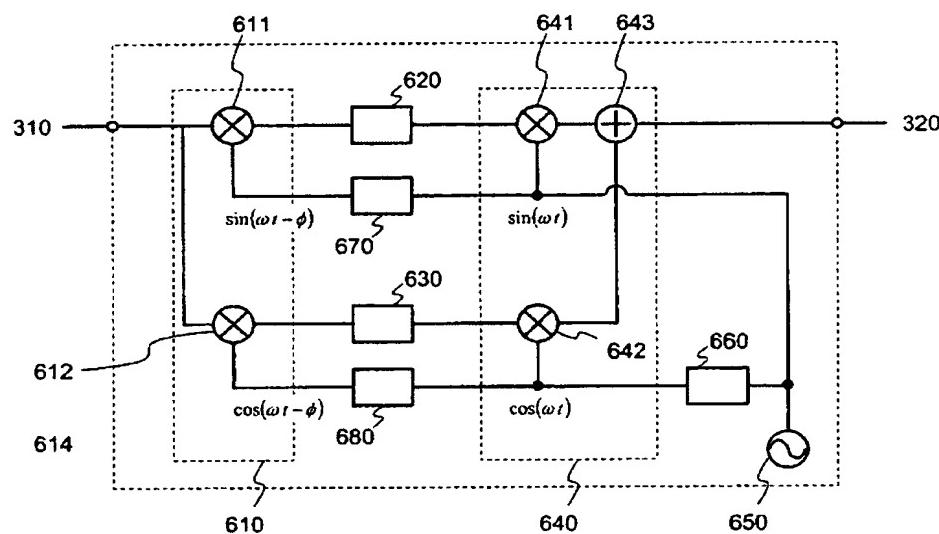
1000 コンピュータ装置

【書類名】 図面

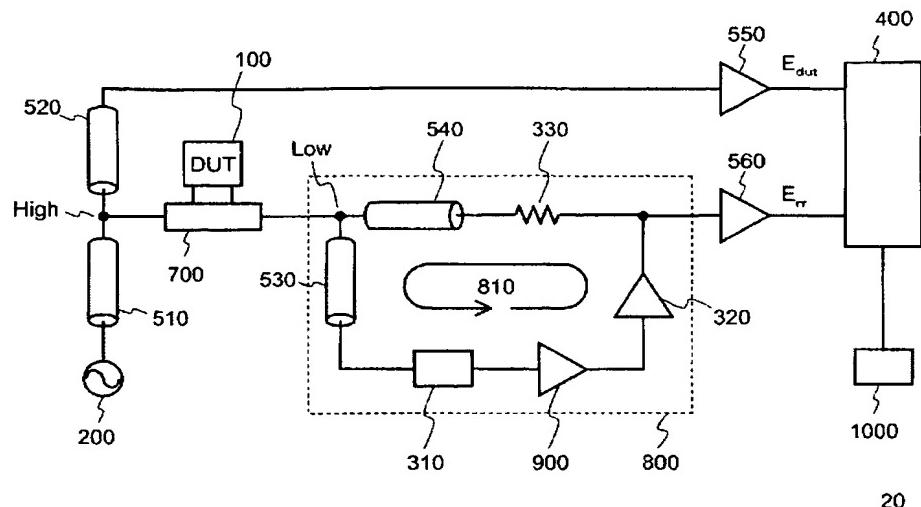
【図 1】

10

【図 2】

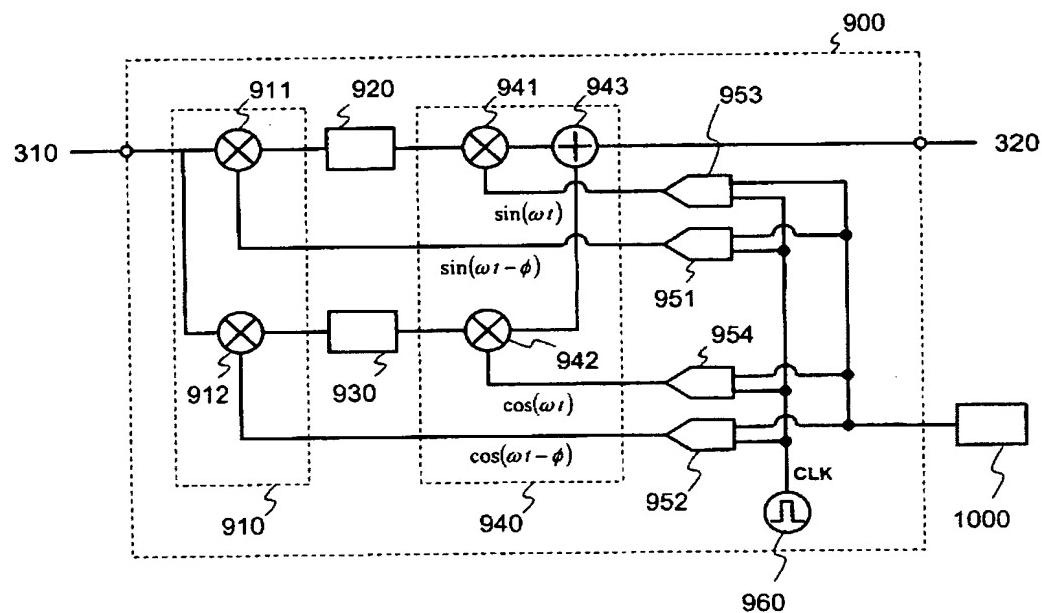


【図3】

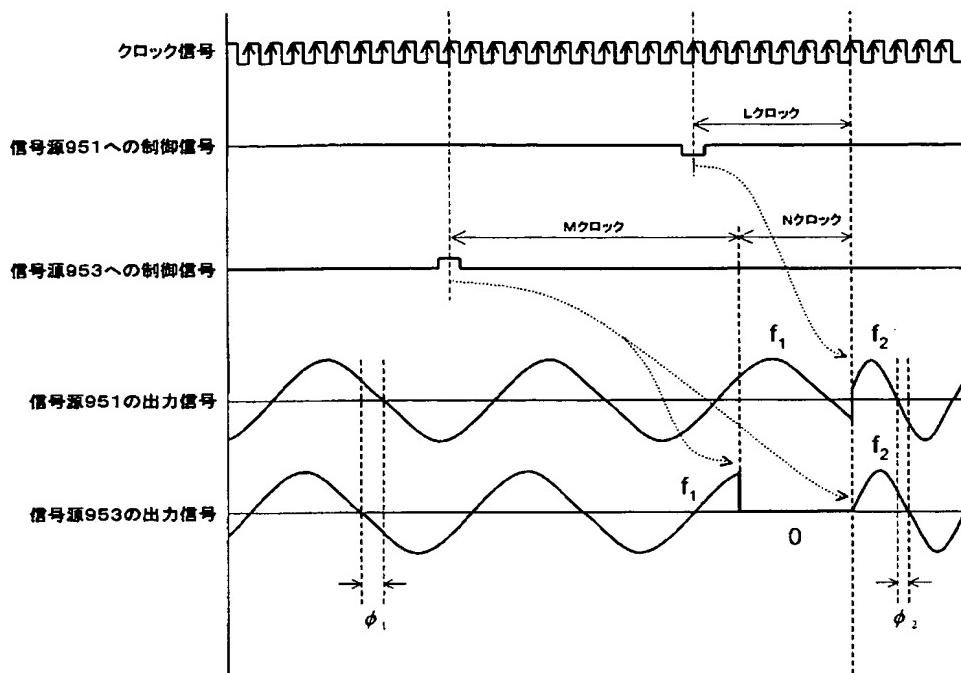


20

【図4】



【図5】



【書類名】要約書

【課題】高速測定可能なインピーダンス測定装置の提供

【解決手段】自動平衡ブリッジを備えるインピーダンス測定装置において、自動平衡ブリッジ内の狭帯域増幅器に具備される位相検波器およびベクトル変調器に正弦波信号および余弦波信号を供給する4つの数値制御発振器を備える。4つの数値制御発振器は、外部からの数値制御により出力信号の周波数または位相が変化する。また、インピーダンス測定装置は、4つの数値制御発振器を外部制御があってから所定時間後に周波数または位相が変化する発振器とした。さらに、インピーダンス測定装置は、4つの数値制御発振器の出力信号の周波数や位相の変化が同期するように制御する手段を備えた。

【選択図】図4

**認定・付加情報**

特許出願の番号	特願2003-112671
受付番号	50300637346
書類名	特許願
担当官	第一担当上席 0090
作成日	平成15年 4月18日

## &lt;認定情報・付加情報&gt;

【提出日】	平成15年 4月17日
-------	-------------

次頁無

【書類名】 出願人名義変更届  
【あて先】 特許庁長官殿  
【事件の表示】  
  【出願番号】 特願2003-112671  
【承継人】  
  【識別番号】 399117121  
  【氏名又は名称】 アジレント・テクノロジーズ・インク  
【承継人代理人】  
  【識別番号】 100105913  
  【弁理士】  
  【氏名又は名称】 加藤 公久  
【手数料の表示】  
  【予納台帳番号】 086680  
  【納付金額】 4,200円  
【提出物件の目録】  
  【包括委任状番号】 9911735  
  【物件名】 譲渡証書 1  
  【援用の表示】 平成16年2月17日付提出の特許願2001-235640号  
                  についての手続補足書  
  【物件名】 譲渡証書及び訳文 1  
  【援用の表示】 平成16年2月17日付提出の特許願2001-235640号  
                  についての手續補足書

## 認定・付加情報

特許出願の番号	特願2003-112671
受付番号	50400252323
書類名	出願人名義変更届
担当官	塩原 啓三 2404
作成日	平成16年 4月22日

## &lt;認定情報・付加情報&gt;

【提出日】	平成16年 2月17日
【承継人】	
【識別番号】	399117121
【住所又は居所】	アメリカ合衆国カリフォルニア州パロアルト ページ・ミル・ロード 395
【氏名又は名称】	アジレント・テクノロジーズ・インク
【承継人代理人】	申請人
【識別番号】	100105913
【住所又は居所】	東京都八王子市高倉町9番1号 アジレント・テクノロジー株式会社 法務知的財産部
【氏名又は名称】	加藤 公久

特願 2003-112671

出願人履歴情報

識別番号 [000121914]

1. 変更年月日 1999年11月 1日

[変更理由] 名称変更

住 所 東京都八王子市高倉町9番1号  
氏 名 アジレント・テクノロジー株式会社

特願 2003-112671

出願人履歴情報

識別番号 [399117121]

1. 変更年月日 1999年10月13日

[変更理由] 新規登録

住 所 アメリカ合衆国カリフォルニア州パロアルト ページ・ミル・

ロード 395

氏 名 アジレント・テクノロジーズ・インク